



Historische Spionagesatelliten und modernes Umweltmanagement im Einsatz für den Kulturgüterschutz

Dr. Markus Neteler & Guido Riembauer

mundialis GmbH & Co. KG
info@mundialis.de
<https://mundialis.de>

18.03.2026



mundialis



Die Themen dieses Vortrags

- # Kurzvorstellung der Firma mundialis aus Bonn
- # Teil 1: Aufbereitung von US Keyhole-Satellitendaten
- # Teil 2: Monitoring von Umweltparametern an Kulturerbestätten



Wer ist mundialis

- # Gegründet 2015 in Bonn
- # Open Data & Open Source
- # 13 Mitarbeitende
- # Experten der Geodaten, Fernerkundung, GIS-Entwicklung & KI-Analyse



DR. ELISABETH PANZENBÖCK
Geschäftsführerin

Elisabeth promovierte an der Universität Göttingen und der Nara Women's University in Nara, Japan in Physik. Sie war unter anderem im Missionsbetrieb am Deutschen Raumfahrtkontrollzentrum GSOC als auch als nationale Koordinatorin für Weltraumwetter im DLR tätig. Nach einigen Jahren als Projektleiterin ist sie seit 2020 Geschäftsführerin von mundialis.



CARMEN TAWALIKA
Anwendungsentwicklerin

Carmen studierte Geographie und ist schon seit ihrer Gründung bei mundialis. zuvor war sie bei terrestris tätig. Sie ist Entwicklerin, eine Anhängerin von Open Source und die Hauptentwicklerin von actinia.



DR. MARKUS METZ
Spezialist Fernerkundung

Markus Metz promovierte an der Universität Oldenburg in Biologie und kam über Biogeographie zu GIS und Fernerkundung und ist ein langjähriger Entwickler der Kern-Komponenten von GRASS GIS. Bei mundialis ist er der Spezialist für alle Themen rund um Fernerkundung.



ANIKA WEINMANN
Anwendungsentwicklerin & Technical Lead

Anika studierte an der Universität Bonn Geodäsie und Geoinformatik. Sie ist auf die Lösung von Fernerkundungsanalysen mittels Deep Learning Verfahren spezialisiert. Anika hat auch die techn. Leitung der Entwicklung.



JAN ORZEKOWSKI
Systemadministrator

Jan studierte an der Technischen Hochschule Köln Informatik. Er arbeitete drei Jahre lang als Systemadministrator bei terrestris GmbH & Co. KG bevor er bei mundialis anfragt.



GUIDO RIEMBAUER
Sales Manager

Guido studierte Geoinformation & Visualisierung und arbeitete u.a. im Erdbeobachtungsprogramm der ESA, bevor er sich mundialis anschloss. Zuerst in der Entwicklung und Datenanalyse auf Radarfernerkundung spezialisiert, übernahm er 2023 die Rolle des Sales Managers bei mundialis.



JULIA HAAS
Geodatenanalytikerin

Julia studierte Geographie an der Universität Bonn. Sie kam über Umweltmonitoring und Nachhaltigkeitsanalyse zu Geodaten und Fernerkundung. Sie unterstützt mundialis in der Analyse massiver Datenvolumina mit Fokus auf Zeitreihenanalysen und Prozessautomatisierung.



LINA KRISZTIAN
Geodatenanalytikerin

Lina studierte an der Universität Bonn Geodetic Engineering mit dem Profil Geodetic Earth System Science and Data Analysis. Sie befasste sich mit der zeitlichen Vorhersage von Fluss-Peakständen für Überflutungen mit Hilfe von Fernerkundungsdaten und Machine Learning Verfahren.



VICTORIA-LEANDRA BRUNN
Geodatenanalytikerin

Victoria-Leandra studierte Geodäsie und Geoinformation (M.Sc.) an der Universität Bonn und war dort in der Professur Geodäsische Erdsystemforschung tätig. Sie unterstützt mundialis in der Fernerkundungsanalyse.



LENNART MEINE
Projektleiter

Lennart studierte Physische Geographie (M.Sc.) in Köln und war dort am Geographischen Institut tätig. Danach war er Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Bundesanstalt für Strahlenwesen (BfS) und für Klimawandelfolgen und Anpassungsprojekte verantwortlich. Bei mundialis ist er Projektleiter.



JONAS PISCHKE
Studentische Hilfskraft

Jonas ist Masterstudent der Geographie an der Universität Bonn mit einem Schwerpunkt auf die vielseitigen Anwendungsbereiche der Fernerkundung. Im Rahmen eines Praktikums kam er zu mundialis und unterstützt das Team weiterhin bei der Aufbereitung und Analyse von Fernerkundungsdaten.



DR. MARKUS NETELER
Co-Founder & Senior Consultant

Markus ist Partner und Geschäftsführer der mundialis. Bis 2010 leitete er eine GIS-Forschungsgruppe in Trento (Italien) und verfügt über langjährige Erfahrung mit Open Source Entwicklung und Fernerkundung und ist einer der Urväter von GRASS GIS (persönliche Seite).



HINRICH PAULSEN
Co-Founder & Senior Consultant

Henrich ist Mitgründer und Geschäftsführer der Firma mundialis. Er verfügt über langjährige Kenntnisse in Geschäftsführung und -entwicklung, Personalwesen und Finanzen und betreut vor allem Earth Sustainability Monitoring-Projekte.



Unsere Dienstleistungen

- # Fernerkundung & Copernicus
- # Umwelt-Monitoring
- # Orthophoto-Analysen
- # Open Source GIS-Entwicklung
- # Open Data
- # Zeitreihenanalyse
- # Schulungen





Unsere Datenprodukte

- # Versiegelungsklassifikation
- # Einzelbaumerkennung
- # Parkraumanalyse
- # Waldmonitoring
- # Starkregensimulation
- # Oberflächentemperaturen
(LST, LSWT)





Für wen arbeitet mundialis





Teil 1: Aufbereitung von US Keyhole-Satellitendaten





Das US Keyhole Satellitenprogramm: Übersicht 1963 – 1984

- ◆ **Declass 1 (1996)** = Corona, Lanyard, & Argon Missions - KH1 thru KH6:
<https://doi.org/10.5066/F78P5XZM>
 - CORONA (KH-4A): Aug 1963 – Sep 1969 spatial resolution: 2,74 m
 - CORONA (KH-4B): Sep 1967 – May 1972 spatial resolution: 1,83 m
 - ARGON (KH-5): - low res May 1962 - Aug 1964 spatial resolution: 14 km
 - LANYARD (KH-6) Jul 1963 - Aug 1963 spatial resolution: 1,83 m



The Eiffel Tower, Paris, France, March 20, 1966
Mission: KH-7; Dates: July 1963–June 1967

<https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3054/>



Das US Keyhole Satellitenprogramm: Übersicht 1963 – 1984

- ◆ Declass 1 (1996) = Corona, Lanyard, & Argon Missions - KH1 thru KH6: <https://doi.org/10.5066/F78P5XZM>
 - CORONA (KH-4A): Aug 1963 – Sep 1969 spatial resolution: 2,74 m
 - CORONA (KH-4B): Sep 1967 – May 1972 spatial resolution: 1,83 m
 - ARGON (KH-5): - low res May 1962 - Aug 1964 spatial resolution: 14 km
 - LANYARD (KH-6) Jul 1963 - Aug 1963 spatial resolution: 1,83 m
- ◆ Declass 2 (2002) = GAMBIT KH-7 and KH-9 Global Camera Photos: <https://doi.org/10.5066/F74X5684>
 - GAMBIT 1 (KH-7): July 1963 – June 1967 spatial resolution: 61 cm
 - GAMBIT 3 (KH-8): 1966 – 1984 spatial resolution: 61 cm
 - KH-7 and KH-9 Global Camera (March 1973 - October 1980) spatial resolution: 6,10-9,14 m



The Eiffel Tower, Paris, France, March 20, 1966
Mission: KH-7; Dates: July 1963–June 1967
<https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3054/>



Das US Keyhole Satellitenprogramm: Übersicht 1963 – 1984

- ◆ **Declass 1 (1996)** = Corona, Lanyard, & Argon Missions - KH1 thru KH6: <https://doi.org/10.5066/F78P5XZM>
 - CORONA (KH-4A): Aug 1963 – Sep 1969 spatial resolution: 2,74 m
 - CORONA (KH-4B): Sep 1967 – May 1972 spatial resolution: 1,83 m
 - ARGON (KH-5): - low res May 1962 - Aug 1964 spatial resolution: 14 km
 - LANYARD (KH-6) Jul 1963 - Aug 1963 spatial resolution: 1,83 m
- ◆ **Declass 2 (2002)** = GAMBIT KH-7 and KH-9 Global Camera Photos: <https://doi.org/10.5066/F74X5684>
 - GAMBIT 1 (KH-7): July 1963 – June 1967 spatial resolution: 61 cm
 - GAMBIT 3 (KH-8): 1966 – 1984 spatial resolution: 61 cm
 - KH-7 and KH-9 Global Camera (March 1973 - October 1980) spatial resolution: 6,10-9,14 m
- ◆ **Declass 3 (2013)** = USGS Subset of Hexagon Missions - KH-9: 1971 - 1984, <https://doi.org/10.5066/F7WD3Z10>
 - Hexagon (KH-9) (1971) spatial resolution: 6,10 m
 - KH9-1 (1971) - KH9-12 (1984) spatial resolution: 1,98 m



The Eiffel Tower, Paris, France, March 20, 1966
Mission: KH-7; Dates: July 1963–June 1967
<https://pubs.usgs.gov/fs/2008/3054/>

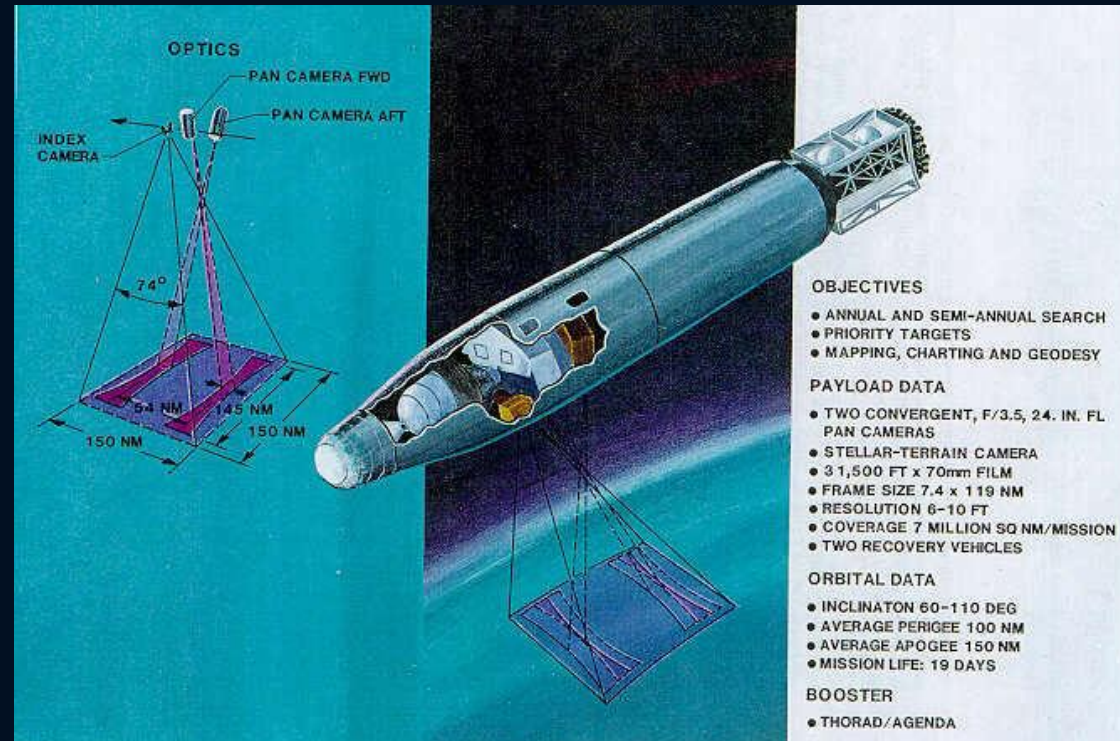


Das Keyhole Satellitenprogramm „CORONA“

- ◆ 144 Satelliten in 8 „CORONA“ KH-4A/B Missionen von 1963 bis 1972
 - KH-4A: Auflösung von 2,74 m
 - KH-4B: Auflösung von 1,83 m

(Zum Vergleich:

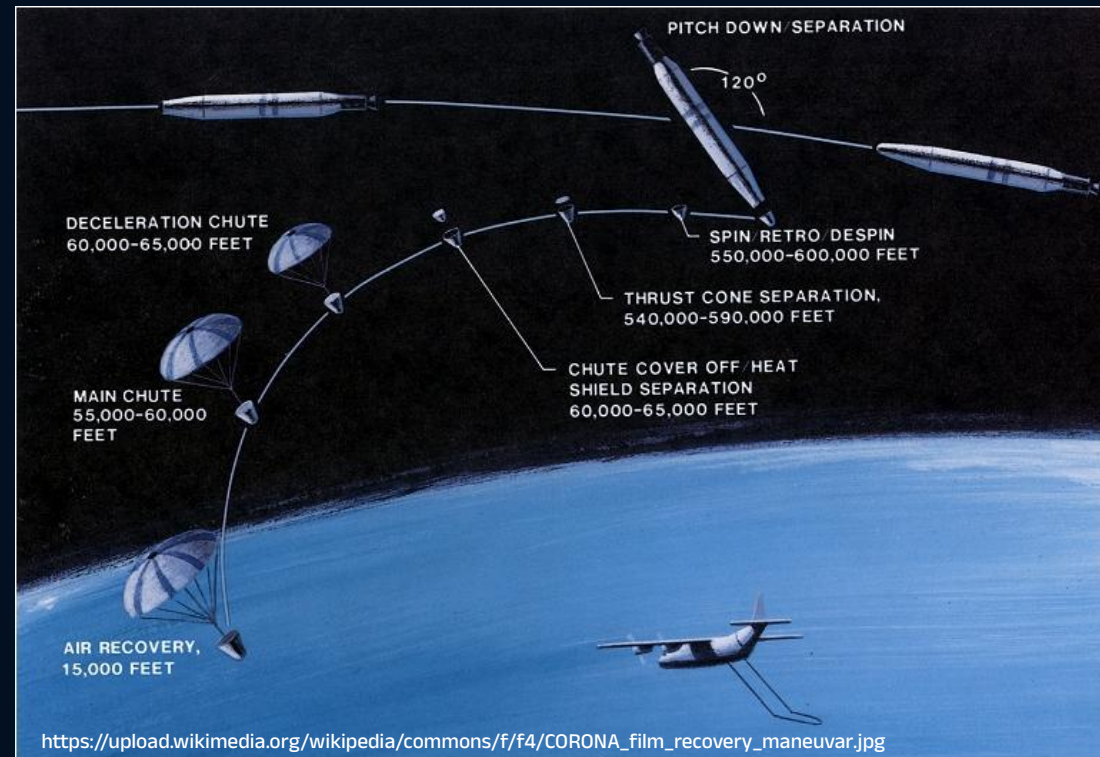
Landsat: 15/30/60 m, Sentinel-2: 10/20 m)





Das Keyhole Satellitenprogramm

- ◆ Analoge Filmkameras:
Panorama-Kameras mit Filmrollen
- Filmabwurf im All, dann Fallschirm
 - ❖ Einfangen per Haken oder Leine am Flugzeug





- ◆ Panorama-Kameras mit Filmrollen
- ◆ Prozessierung der CORONA Rohdaten:
 - Die digitalen Daten stehen beim USGS in vier **Teils cans** zur Verfügung
 - Nach „**stitching**“ werden die räumlich verzerrten Daten durch eine von mundialis implementierte Methode auf moderne Kartographie **entzer rt**
 - Nun können die Daten in einem GIS ausgewertet





Keyhole „CORONA“: Beispiel Tunis (2,74 m Pixelauflösung)



Gebiet
bei Tunis:
1964



Gebiet
bei Tunis:
heute



Anwendungen

- ◆ Langfristige Veränderungen
 - Urbanisierung
 - Landnutzungsveränderungen
- ◆ Identifikation von archäologischen Stätten
 - Strukturen durch hohe Auflösung erkennbar
 - Landschaften häufig mittlerweile überprägt



© Internet Archaeology/Author(s)



Amuq Valley, southern Turkey
(c) Internet Archaeology/Author(s)



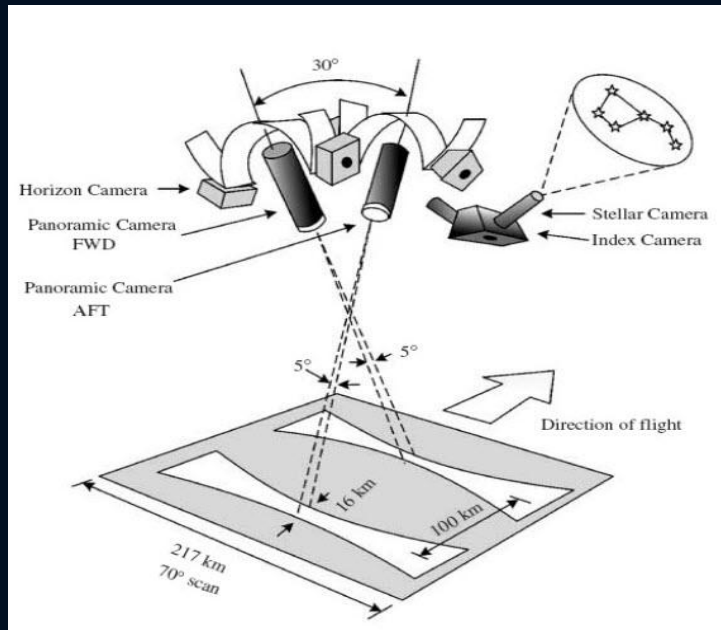


Tell Ta'yinat, southern Turkey
(c) Internet Archaeology/Author(s)

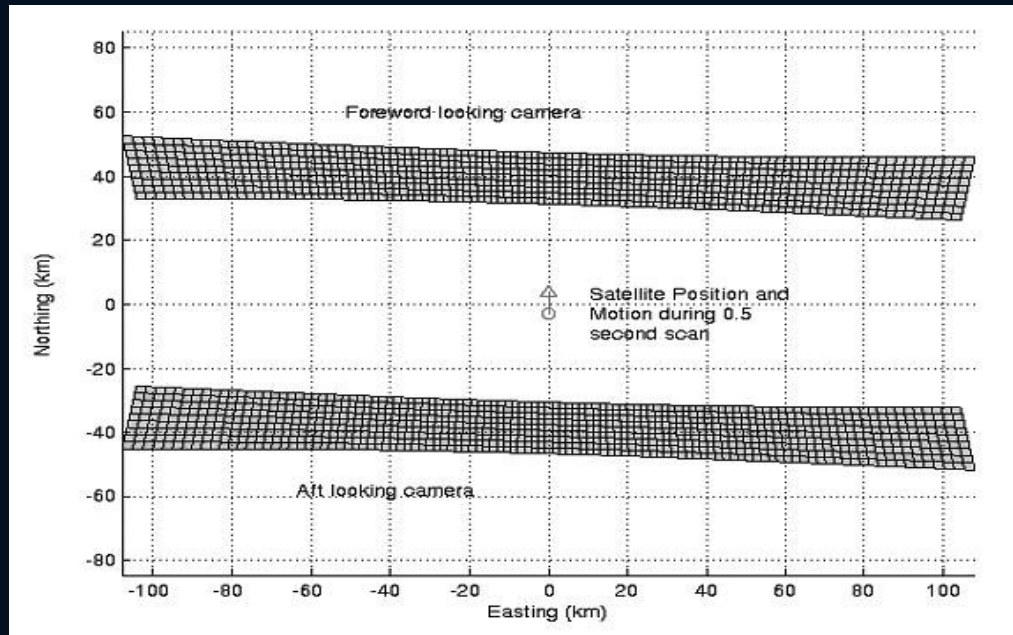




Bildgeometrie und Verzerrungen: die Kamerasysteme



H.-G. Sohn, G.-H. Kim, J.-H. Yom, Mathematical modelling of historical reconnaissance CORONA KH-4B imagery, The Photogrammetrical Record 19 (105) (2004) 51e66.

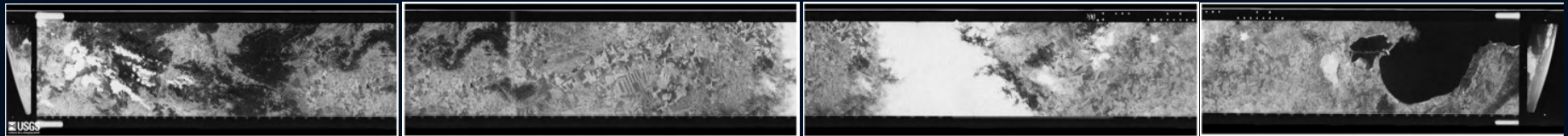


(c) Internet Archaeology/Author(s)



Panoramakorrektur & Georeferenzierung

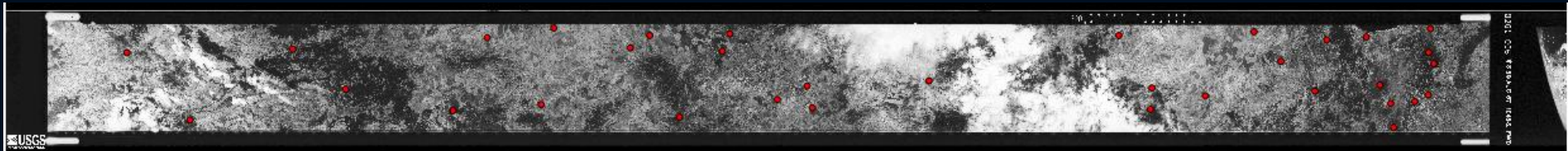
- ◆ Implementiert in der Freien Open Source Software GRASS GIS
- ◆ Prozedur beschrieben unter <https://github.com/mundialis/grass-keyhole>
- ◆ Einzelschritte:
 - Zusammensetzen der Einzelscans





Panoramakorrektur & Georeferenzierung

- ◆ Implementiert in der Freien Open Source Software GRASS GIS
- ◆ Prozedur beschrieben unter <https://github.com/mundialis/grass-keyhole>
- ◆ Einzelschritte:
 - Zusammensetzen der Einzelscans
 - Sammeln von Kontrollpunkten



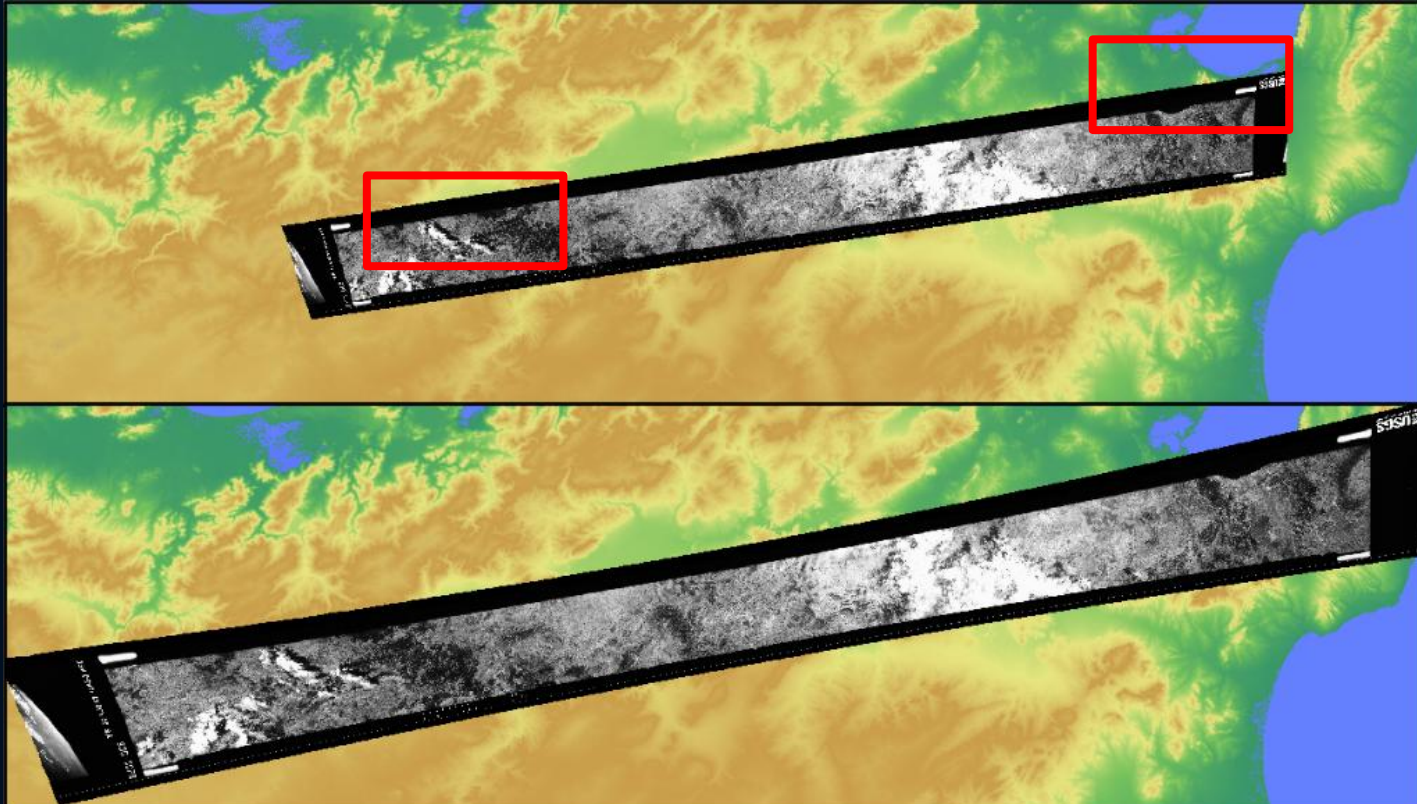


Panoramakorrektur & Georeferenzierung

- ◆ Implementiert in der Freien Open Source Software GRASS GIS
- ◆ Prozedur beschrieben unter <https://github.com/mundialis/grass-keyhole>
- ◆ Einzelschritte:
 - Zusammensetzen der Einzelscans
 - Sammeln von Kontrollpunkten
 - Orthorektifizierung



Bildgeometrie und Verzerrungen: Orthorektifizierung

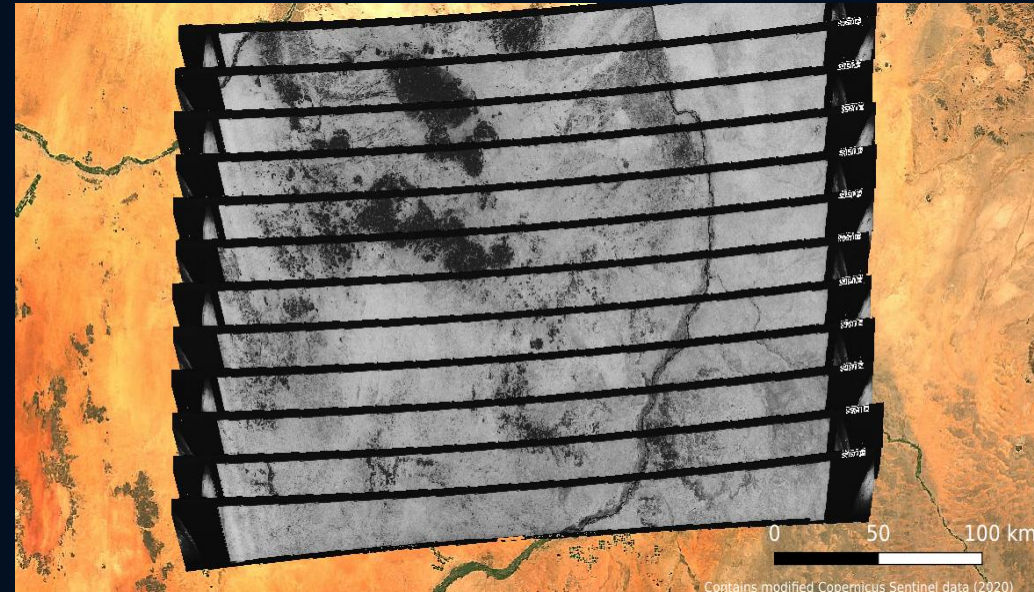




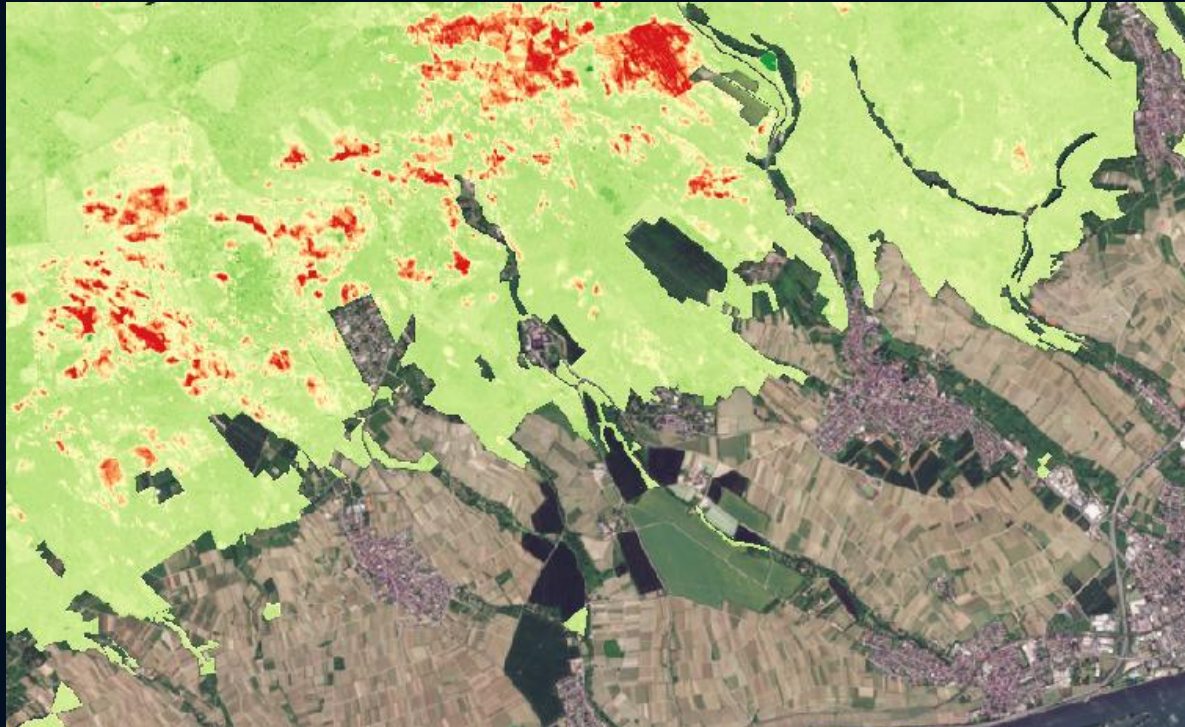
Anwendung der Methodik

- ◆ Szenenweise Anwendung ergibt komplette Überflugstreifen
- ◆ Flächendeckend angewandt für u.a. Afghanistan, Tunesien, Jemen, Syrien, Ägypten, Jordanien, Irak

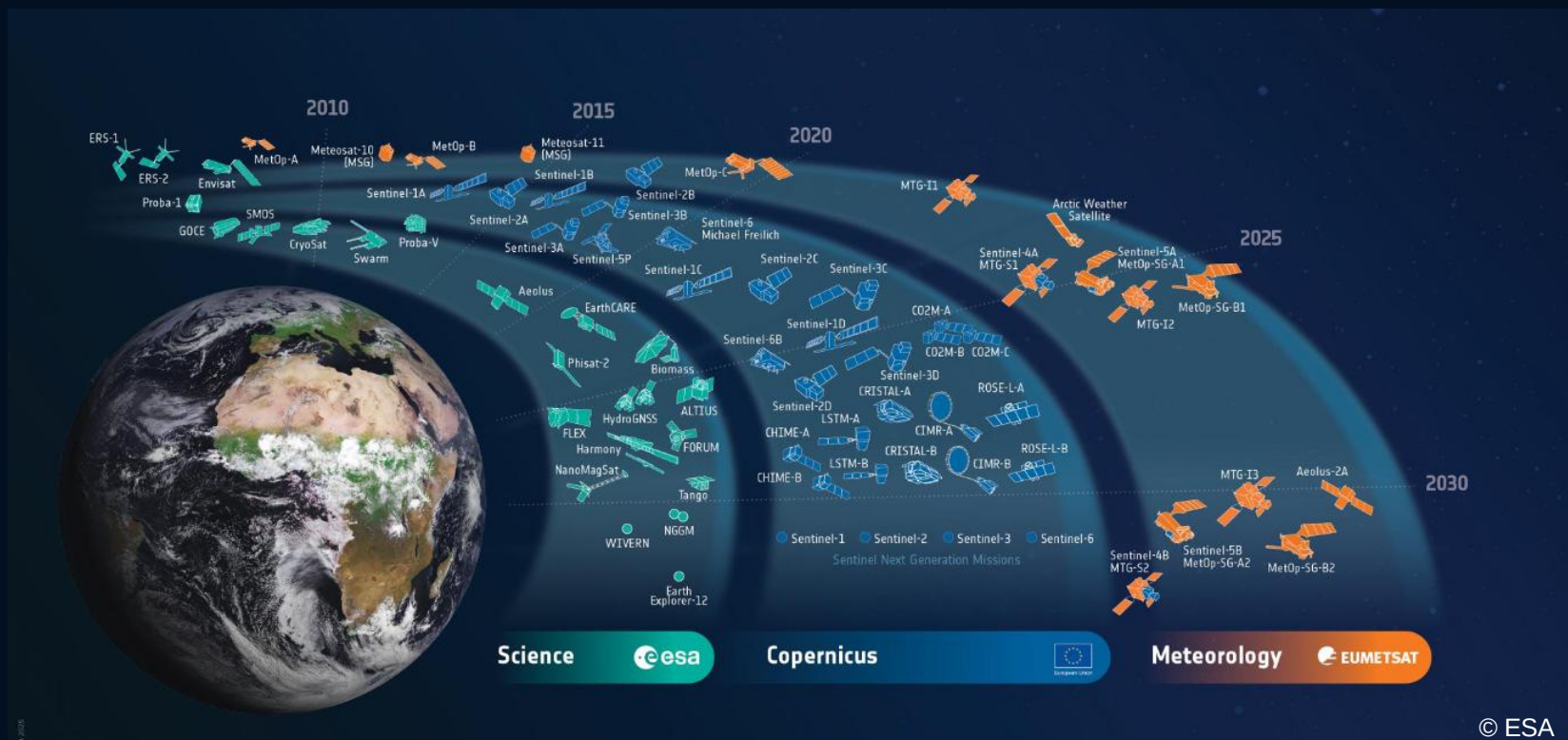
Damit entsteht ein hochauflösender Blick in die jüngere Vergangenheit, der mit aktuellen Geodaten verarbeitet werden kann!



Teil 2: Monitoring von Umweltparametern an Kulturerbestätten



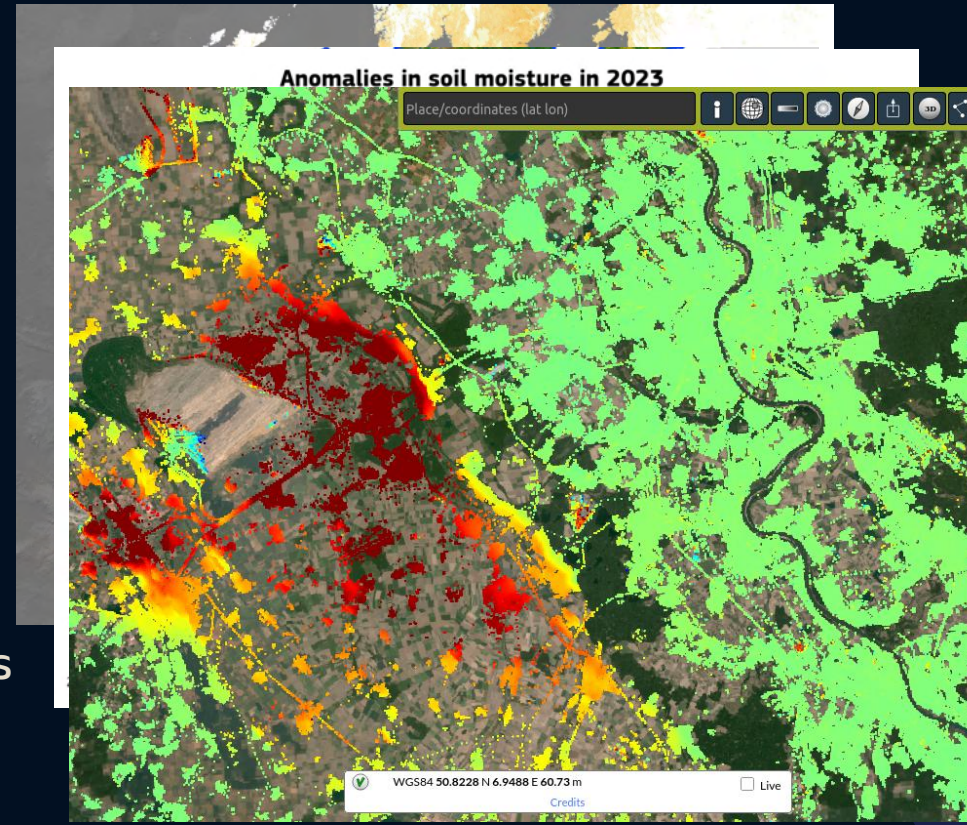
Kontinuierliches Monitoring von Atmosphäre & Erdoberfläche





Verfügbarkeit von dichten Daten-Zeitreihen

- ◆ Umweltparameter stehen als frei verfügbare Datensätze in hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung zur Verfügung, z.B.:
 - Temperaturdaten
 - Landbedeckung
 - Grundwasser/Bodenfeuchte
 - Bodenbewegungen
 - etc.
- ◆ Ziel: Zusammenführung und standortabhängiges Reporting



Hintergrund: Das Projekt BioDivER

- ◆ BioDivER - BioDiversity Environmental Reporting
- ◆ Laufzeit: 01.07.2024 – 30.06.2026 → 24 Monate
- ◆ Forschungsvorhaben: Entwicklung einer Informationsplattform zum ESG-Reporting (Environmental – Social – Governance)
- ◆ Ziel: **Automatisches Reporting-Tool** basierend auf Unternehmensstandorten, -sektor und EO-Umweltdaten





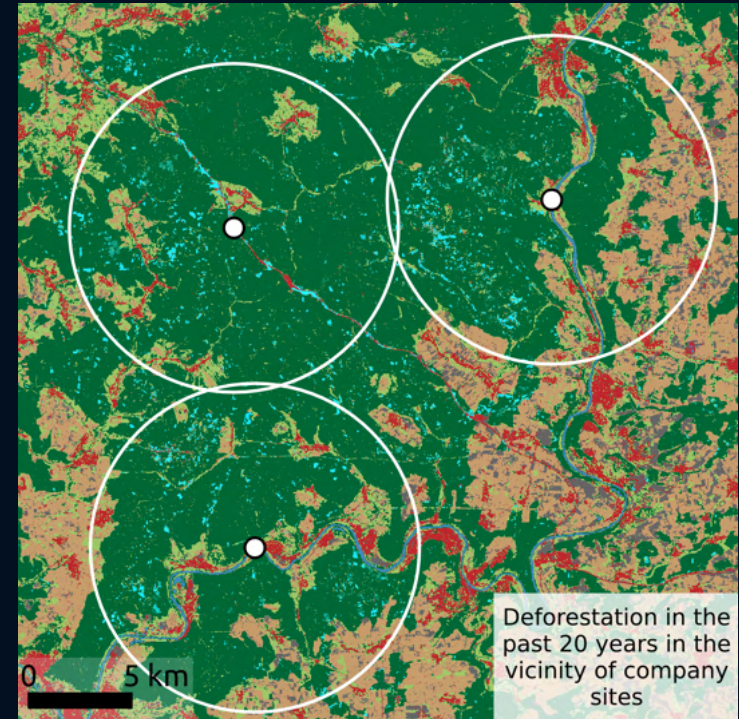
Anwendung im Kulturgutschutz

- ◆ Gefährdung von Kulturerbestätten durch Umweltveränderungen wie Wasserknappheit, Erosion oder extreme Wetterereignisse
- ◆ Automatisierte Systeme können gezielt obige Parameter im Umfeld einer Stätte oder Gefährdungsprozesse über Zeitreihen analysieren und Reports generieren
- ◆ Integration in **Risikomanagement** und Monitoringsysteme von Kulturerbestätten:
 - Ein automatisiertes System kann objektive, datenbasierte Analysen liefern
 - Keine Kenntnisse in der Geodatenauswertung erforderlich
 - Reports können den Entscheidungsträgern, UNESCO-Gremien oder lokalen Behörden als Planungsgrundlage dienen



Standortbezogene Statistiken

- ◆ Monitoring von Umweltparametern im definierbaren Umkreis von Standorten
- ◆ Langfristige Trendanalyse
- ◆ Frühzeitige Erkennung von Veränderungen in z.B. Vegetation, Bebauung oder Wasserständen
- ◆ Präventivmaßnahmen möglich, bevor irreversible Schäden auftreten



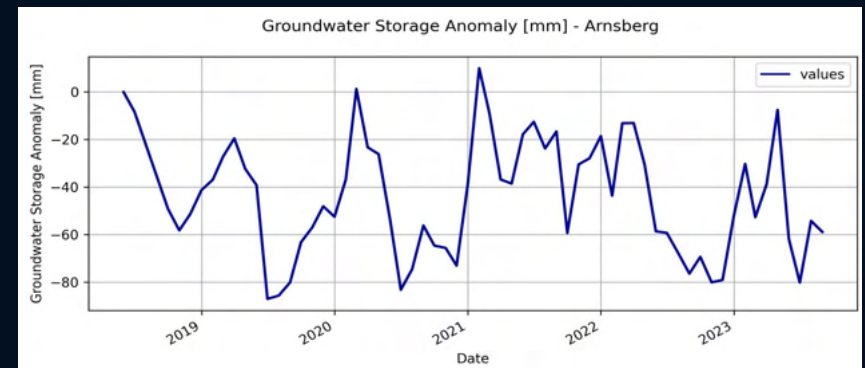
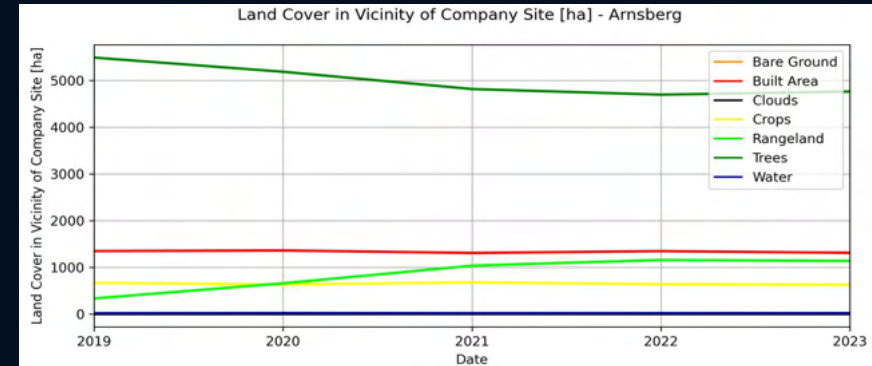


Automatische Reporterstellung

- ◆ Datenprozessierungen und -analysen ermöglichen, automatisiert Reports mit Diagrammen und Anomalieerkennung zu erstellen

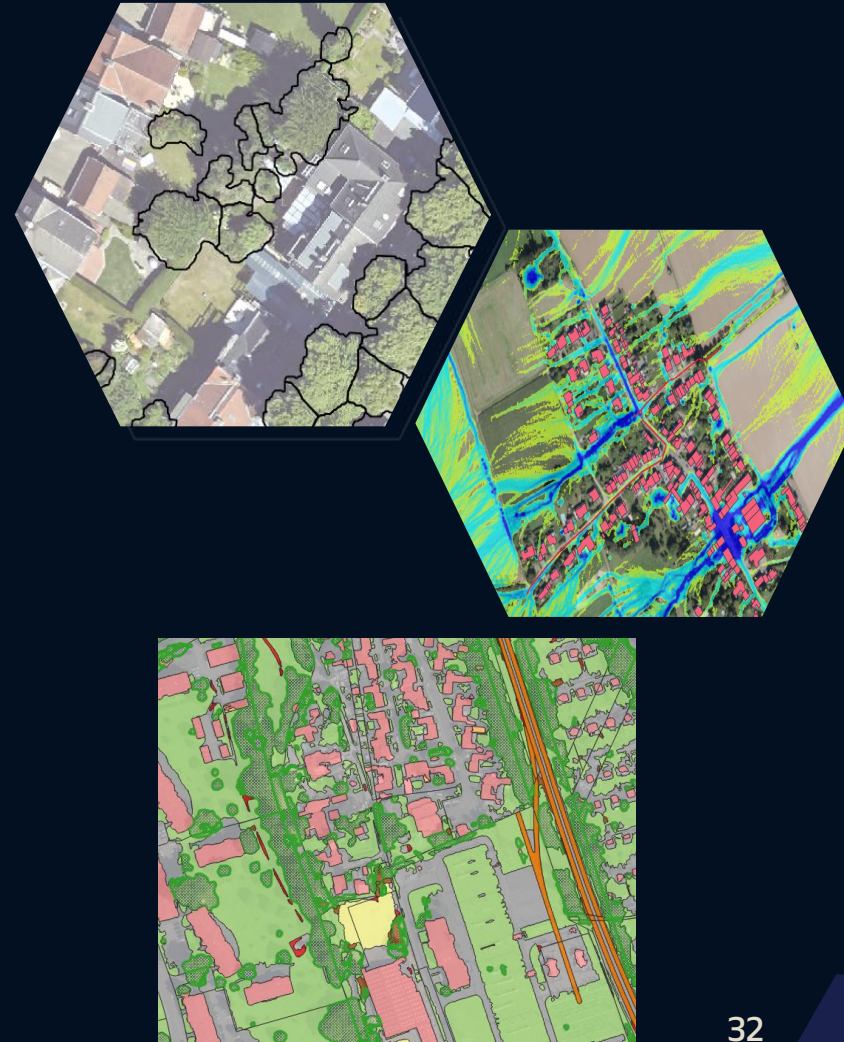


© European Ground Motion Service



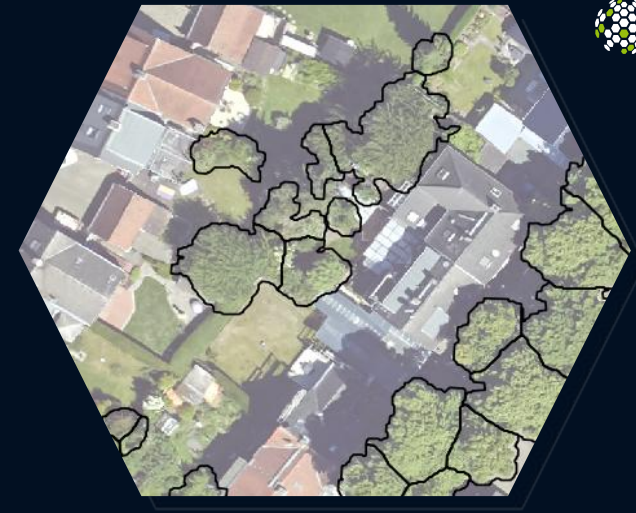
Ergänzung: Spotlight-Analysen

- ◆ Für einzelne Standorte auf Basis hochauflösender Daten (z.B. Luftbilder, kommerzielle Satellitendaten)
- ◆ Beispiele:
 - Einzelbaumerkennung und -monitoring
 - Oberflächenversiegelung
 - Starkregensimulation



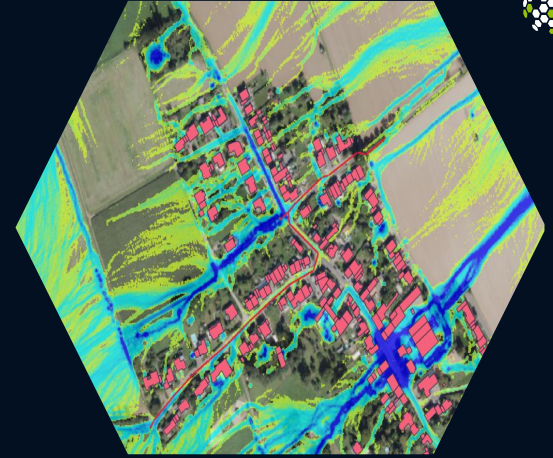
Spotlight: Einzelbaumerkennung

- Ableitung von Position und Höhe von Einzelbäumen aus Luftbildern/hochauflösenden kommerziellen Satellitenbildern
- Monitoring des Baumzustands
- relevant für
 - Infrastrukturmonitoring
 - Gebäude- & Liegenschaftsmanagement
 - Forstmanagement
 - → ein flächendeckender Einzelbaumdatsatz hilft, Risiken durch z.B. Windwurf zu quantifizieren



Spotlight: Oberflächenversiegelung

- Ableitung von Oberflächenklassen und Versiegelungsgrad aus Luftbildern
- Einteilung in bis zu 13 Klassen
- Hochauflösende Informationen zum Versiegelungsgrad sind wertvoller Bestandteil der Risikobewertung z.B. für
 - ~ Hochwasserschäden (Abflussverhalten bei Starkregen)
 - ~ Hitzeinseln





Ausblick & Diskussion

- ◆ Datengrundlage und Technologie ermöglichen vieles, aber:
- ◆ Was sind die Bedarfe des Kulturgutschutzes?
 - Welche Arten von Veränderungen oder Belastungen sind für Kulturerbestätten besonders relevant?
 - Auf welcher räumlichen und zeitlichen Ebene nehmen Sie Veränderungen oder Gefährdungen wahr?
 - Wie müssten Ergebnisse aufbereitet sein, damit sie im Alltag wirklich unterstützen?
 - Wo sehen Sie aktuell Lücken im Monitoring oder in der Datengrundlage?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Ihr Kontakt:

Dr. Markus Neteler & Guido Riembauer

research@mundialis.de

mundialis GmbH & Co. KG

info@mundialis.de

<https://mundialis.de>



mundialis